

Development of Receiver Function Method for Geothermal Exploration Field

Rian Amukti^{1,2}, Zaenudin² Suharno² dan Wiwit Suryanto¹

¹Universitas Gadjah Mada

²Universitas Lampung

hatake.rian@gmail.com

Keywords: Tomography, receiver function, micro earthquake, geothermal.

ABSTRACT

Micro earthquake tomography method has been used for geothermal exploration. Micro earthquake tomography method can be done by analyzing the P-wave arrival time, and by analyzing the phase difference P-wave called receiver functions method. The advantage of receiver function method is easily to map the subsurface structure using three component seismometers. Examples of cases that have been studied to prove the success of this method is the receiver function method can map the subsurface velocity structure of Mount Sindoro. From the results of this study can prove the effectiveness of the method of receiver function, so that the development was undertaken with the data using synthetic micro earthquake.

1. PENDAHULUAN

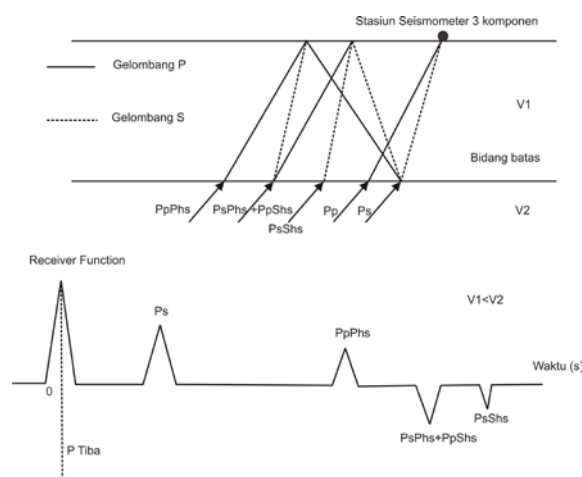
Penelitian struktur bawah permukaan bumi telah dilakukan dengan berbagai metode, salah satu metode yang akurat digunakan adalah *receiver function*. Metode ini memanfaatkan data rekaman gempa pada satu stasiun yang memiliki 3 komponen (Langston, 1979). Metode *receiver function* terus berkembang dengan didukung kualitas data yang makin baik didapatkan dari seismometer *broadband* yang digunakan untuk melakukan *inverse receiver function* untuk pendeteksian kecepatan kerak bumi (Ammon, 1997). Baru-baru ini banyak pemodelan *receiver function* untuk kerak bumi dilakukan, salah satunya menggunakan *Interactive Receiver Function Forward Modeller* (Tkalcic, 2006). Penelitian tentang *receiver function* untuk memodelkan kerak dan bagian atas mantel telah banyak dilakukan di berbagai Negara, contohnya di pulau Hainan laut Cina Selatan (Qiu, 2002), lempeng Jerman Utara (Alinaghi, 2003), dan daerah laut mati dengan menggunakan analisis *receiver function* (Mohsen, 2004). Namun penelitian mengenai kerak dan zona *moho* di Indonesia masih sedikit dilakukan, sehingga melandaskan penelitian ini dilakukan dan pengembangannya untuk diaplikasikan pada lapangan panasbumi. Pada paper ini akan disampaikan hasil pemodelan kecepatan struktur bawah permukaan yang menggambarkan struktur geologi bawah permukaan menggunakan data MERAMEX yang berada pada Gunung Sindoro.

2. DASAR TEORI ANALISIS RECEIVER FUNCTION

Event gempa yang terekam pada seismometer memiliki berbagai informasi yang berasal dari bawah permukaan bumi, baik gelombang P, S dan gelombang permukaan, sehingga jika dilakukan analisis *receiver function* terhadap seismogram gempa, dengan cara melakukan analisis

pengukuran terhadap komponen radial dan vertikal gelombang P akan didapatkan informasi struktur dangkal di bawah permukaan stasiun seismometer. Gelombang P bersifat longitudinal akan memiliki waktu tiba gelombang lebih cepat daripada gelombang S yang bersifat transversal. Jika gelombang P melewati suatu medium diskontinuitas maka akan ada perubahan fase gelombang P yang berubah menjadi gelombang berfase S (Gambar 1), sehingga waktu tempuh gelombang tersebut lebih lama. Analisis ini menjadikan kunci untuk menentukan struktur geologi berdasarkan perbedaan kecepatan gelombang bawah permukaan bumi (Ammon, 1991).

Analisis *receiver function teleseismic* merupakan komposisi gelombang konversi P terhadap S yang merambat di dalam struktur lapisan tepat di bawah seismometer. Gelombang datang ini berisi informasi yang berhubungan dengan fungsi waktu sumber gempa dan efek perambatan yang diteruskan oleh mantel dan struktur lokal di bawah stasiun perekaman.



Gambar 1. Skematik perjalanan gelombang teleseismik hingga mencapai seismometer dan respon receiver function. Dimodifikasi dari sumber: (Ammon, 1997).

Untuk melakukan analisis *receiver function* diperlukan *azimuth* dan *back azimuth* event dari stasiun seismometer. Setelah menghitung sudut *azimuth* dan *back azimuth*, maka dilakukanlah rotasi data untuk memudahkan perhitungan *receiver function*. Perekaman data seismometer tiga komponen terdiri dari komponen dengan arah vertikal Z, Utara-Selatan N, dan Timur-Barat E, disebut juga rotasi ZNE.

Jansson 2008 menjelaskan ada dua sistem rotasi yang sering dipakai yaitu sistem rotasi 2D yang disebut ZRT dan sistem rotasi 3D yang dikenal dengan LQT. Rotasi ZRT adalah rotasi 2D dimana komponen Z masih tetap sama pada posisinya dengan yang asli pada rekaman ZNE, dapat dilihat

pada gambar 2. Dan dua komponen horizontal N dan E dirotasi ke arah radial R dan tangensial T dengan cara persamaan 1,

$$\begin{bmatrix} R \\ T \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E \\ N \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

dengan $\theta = \frac{3\pi}{2} - \xi$ dan ξ adalah *back azimuth*. *Back azimuth* adalah sudut antara vektor pointing dari stasiun seismik yang ditarik garis ke arah utara lalu dari garis tersebut ditarik sudut ke arah sumber gempa. Rotasi ZRT digunakan untuk forward model (Jansson, 2008).

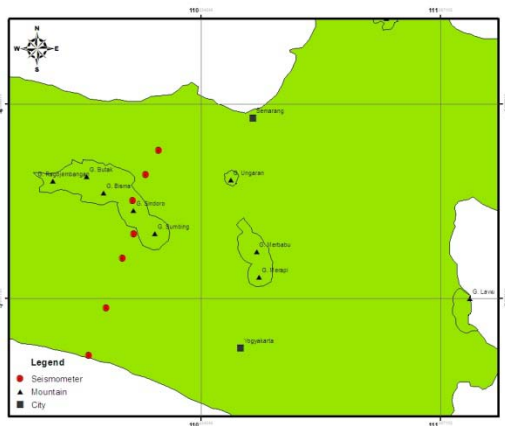
Setelah dilakukan rotasi data maka langkah selanjutnya adalah analisis *receiver function* dengan melakukan perhitungan terhadap komponen radial *receiver function* dan vertikalnya, sehingga didapatkan respons *receiver function*. Selanjutnya setelah mendapatkan respons *receiver function* dilakukan dekonvolusi menggunakan dekonvolusi water level. Inversi *receiver function* dilakukan untuk mendapatkan respon bumi 1-D dari data hasil analisis *receiver function* yang diperoleh. Proses inversi ini menggunakan program (snglinv). Program ini dibangun dengan algoritma least-square untuk meminimalkan misfit antara data observasi dan data prediksi. Pendekatan model respon bumi dari initial model digunakan algoritma creeping dan jumping. Model awal atau sering disebut initial model digunakan model yang telah diteliti oleh Koulakov dkk (2007). Pemilihan nilai faktor Gaussian saat menggunakan inverse disamakan dengan nilai Gaussian ketika menganalisis respon *receiver function*. Iterasi yang digunakan sesuai dengan kebutuhan, dan yang paling mendekati dengan bentuk *waveform* respon *receiver function*, serta sesuai dengan keadaan geologi yang dapat diterima.

3. DATA

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data MERAMEX.

3.1. Data MERAMEX

Data MERAMEX yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada gambar 2. Perekaman data dilakukan selama 150 hari pada tahun 2004. Jarak antar stasiun seismometer adalah 10-20 km.

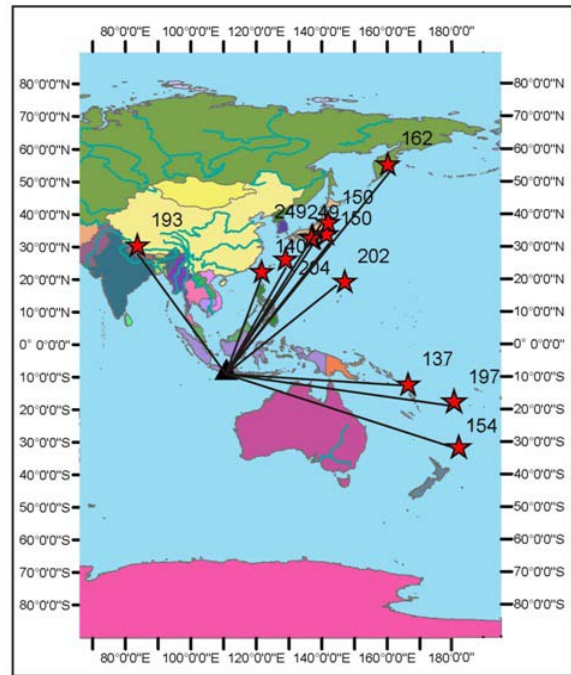


Gambar 2. Stasiun-stasiun seismometer yang digunakan dalam penelitian.

Pada gambar 2 dapat dilihat ada 7 stasiun seismometer yang digunakan untuk merekam data gempa teleseismik.

3.2. Data gempa

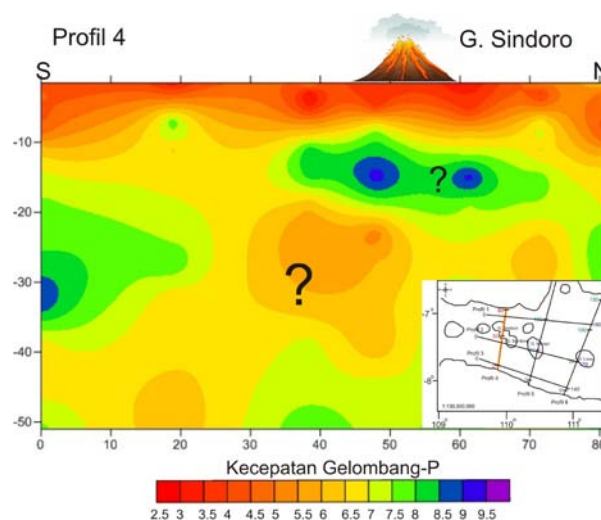
Event gempa yang dipilih untuk melakukan analisis *receiver function teleseismic* adalah event gempa dengan magnitude diatas 6, maka dipilihlah 11 event gempa (gambar 3).



Gambar 3. Event-event gempa *teleseismic* yang ditangkap oleh jaringan seismometer MERAMEX.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Respon *receiver function* tiap stasiun memiliki respon *receiver function* yang baik, karena memiliki karakter respon *receiver function* yang sama dari tiap event yang berbeda. Stasiun AF1 memiliki respon yang sama dari event yang berbeda, begitu juga dengan stasiun AF2, BF3, BG3, CG1, CG2, dan DG1. Pada stasiun AF1 hanya memiliki 3 event yang memiliki karakter respon *receiver function* yang sama yaitu : stasiun AF2 memiliki 5 respon *receiver function*, stasiun BF3 memiliki 4 respon *receiver function*, stasiun BG3 memiliki 4 respon *receiver function*, stasiun CG1 memiliki 4 respon *receiver function*, stasiun CG2 memiliki 8 respon *receiver function*, dan stasiun DG1 memiliki 5 respon *receiver function* dengan karakter respon yang sama dari tiap event yang berbeda. Pada satu stasiun pengamat seismik, terekam beberapa event dari gempa yang berbeda. Setelah melakukan filter dan memilih sinyal dengan karakteristik yang sama. Selanjutnya untuk mendapatkan kualitas sinyal yang baik diperlukan *stacking* semua sinyal. *Stacking* sinyal dilakukan di tiap stasiun. (Gambar 3).



Gambar 5. Penampang 2 dimensi struktur bawah permukaan Gunung Sindoro.

Gambar 3. Respon receiver function

Hasil stack respon receiver function dari event yang berbeda tiap stasiun diinversi untuk mendapatkan struktur bawah permukaan. Rumitnya keadaan geologi menyebabkan sulitnya mendapatkan hasil inversi yang baik. Stasiun AF2, CG1, dan CG2 memiliki hasil inversi data prediksi (berwarna merah) yang cukup baik bila dibandingkan dengan respon data observasi (berwarna hitam), sedangkan stasiun AF1, BF3, BG3, dan DG1 memiliki hasil inversi yang kurang baik (Gambar 4).

Gambar 4. Inversi respon receiver function

Pada Gambar (5), terdapat adanya low velocity gelombang-P dengan nilai 6,5 km/s menyebar dari kedalaman 50 km menjalar keatas hingga mencapai Gunung Sindoro, sehingga ini diinterpretasikan sebagai partial melting atau magma yang bergerak ke atas akibat dari hancuran daerah subduksi. Adanya partial melting menyebabkan batas Moho yang biasanya terdapat di kedalaman 33-40 km menjadi ikut hancur dan terputus. Terlihat pada gambar batas Moho terdapat di kedalaman 20 km di Selatan Gunung sindoro, lalu terputus akibat adanya partial melting.

5. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa analisis *receiver function* telah dapat untuk merekonstruksi struktur kedalaman fungsi kecepatan yang baik dengan didukung oleh data dengan kualitas yang baik direkam pada seismometer. Hasil analisis respon receiver function menunjukkan bahwa sebaran data gempa yang terekam dalam jaringan stasiun MERAMEX ternyata layak untuk studi receiver function. Batas diskontinuitas Moho adalah 20 km di Selatan Gunung Sindoro, namun tergantung juga terhadap geologi pendukung sekitar daerah tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih peneliti haturkan kepada Laboratorium Geofisika UGM yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian ini dengan menggunakan data MERAMEX, dan kepada Dr. Rer. Nat. Wiwit Suryanto yang telah membimbing dalam penelitian ini.

6. REFERENCES

- Amukti, R., Suryanto, W. Pemodelan struktur kecepatan bawah permukaan lapangan panasbumi menggunakan analisis receiver function. *Proceedings the 12th annual indonesian geothermal association meeting & conference*. (2012).
- Ammon, C.J. The isolation of receiver effects from teleseismic P wave-forms. *Bulletin of the seismological Society of America*, 81(6):2504-2510 (1991).
- Ammon, C.J. (1997). An overview of receiver-function analysis. Webpage. Department of Geoscience Pennsylvania State University. Situs dari: <http://eqseis.geosc.psu.edu/~cammon/HTML/RftnDocs/rftn01.html>.
- Jansson, N.R.T (2008). *Receiver function Modeling. Modeling local subsurface velocity structures using multiple diverse algorithms*: Thesis. Niels Bohr Institute, University of Copenhagen.

Langston, C.A. Structure under mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves. *J. Geophys. Res.*, 84(B9):4749-4762 (1979).

Mohsen, A (2004). *A receiver function study of the crust and upper mantle across the dead sea transform*: Dissertation. Berlin University.

Tkalcic, H., Pasyanos, M.E., Rodgers, J.A., Gok, R., Walter, R.W., and Al-Amri, A. A multistep approach for joint modeling of surface wave dispersion and teleseismic receiver functions: Implications for lithospheric structure of the Arabian Peninsula. *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 111, B11311, doi:10.1029/2005JB004130, (2006).